



Visite nuestro sitio web

6 Noviembre 2024

Madrid, España

Instituto de Ciencias de la Construcción
Eduardo Torroja (CSIC)

1^a Jornada sobre
Zeolitas Sostenibles:
**Avances en su Síntesis
y Aplicaciones**

Libro de resúmenes

1ª JORNADA SOBRE ZEOLITAS SOSTENIBLES: AVANCES EN SU SÍNTESIS Y APLICACIONES

Introducción

Las zeolitas son materiales sólidos cristalinos que poseen estructuras porosas regulares. Muchas de las propiedades únicas de las zeolitas, como su capacidad de adsorción, tamizado molecular e intercambio iónico, se explican por su estructura, particularmente por la presencia de huecos o canales que permiten la adsorción y difusión de diferentes iones y moléculas. Debido a estas propiedades, las zeolitas se utilizan ampliamente en numerosas aplicaciones industriales como remediación de aguas, catálisis, fabricación de detergentes, purificación de gases, membranas y en la industria de la construcción, entre otras.

El avance en el desarrollo de procesos de síntesis más sostenibles, dirigidos a minimizar el consumo de recursos naturales, reducir costes de producción y mitigar el impacto ambiental de las actividades industriales, ha cobrado gran relevancia en la investigación científica. En este contexto, los esfuerzos orientados hacia el desarrollo de métodos más ecoeficientes para la producción de zeolitas, se han enfocado no solo en la optimización de los procesos sino también en promover la integración de materias primas no convencionales, lo que contribuye de manera significativa a la implementación de prácticas de economía circular. Este compromiso con la sostenibilidad está alineado con los objetivos del Pacto Verde Europeo, que persigue un crecimiento económico respetuoso con el medio ambiente y una transición hacia una economía más verde y sostenible.

Objetivo

La Primera Jornada sobre "**Zeolitas Sostenibles: Avances en Síntesis y Aplicaciones**" se plantea como un foro de encuentro para investigadores, científicos y profesionales de la industria, donde puedan compartir e intercambiar conocimientos sobre los más recientes avances en el campo de las zeolitas. Este evento pone un énfasis especial en las innovadoras rutas de síntesis que emplean materias primas no convencionales, así como en las aplicaciones emergentes de las zeolitas en diversas industrias. La jornada ofrece una valiosa oportunidad para fomentar la colaboración y explorar nuevas perspectivas en torno a la sostenibilidad y la eficiencia de estos materiales.

Se enmarca la jornada, dentro de las actividades de diseminación y difusión del proyecto Z-ONA4 LIFE "Circularidad de las fundiciones de aluminio mediante la producción holística de zeolita para la depuración de efluentes", financiado por el programa Life para el Medio Ambiente y Acción por el Clima, dentro del subprograma de Economía Circular y Calidad de Vida.

Organizadores



Patrocinadores



COMITÉ CIENTIFICO



Joaquín Pérez Pariente, es Profesor de Investigación del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP-CSIC). Su labor investigadora se centra en la síntesis de materiales zeolíticos y su evaluación como catalizadores de procesos químicos sostenibles. Es autor de 280 publicaciones, dos libros y otro tres como co-autor. Es académico correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia y miembro de la Junta de Gobierno del Grupo de Historia de la Ciencia de la RSEQ.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5322-9528>



Miguel A. Cambor, es profesor de investigación en el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC) y lleva más de 35 años estudiando la síntesis, caracterización fisicoquímica y estructural y aplicaciones de las zeolitas. Esta labor se ha desarrollado en tres institutos del CSIC (ICP, ITQ e ICMM), en una universidad norteamericana como Postdoctoral Fulbright Fellow (CalTech) y en una industria química privada (Industrias Químicas del Ebro, Zaragoza), donde fue director del departamento de investigación y desarrollo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9591-3432>.



Mª Carmen Lobo Bedmar, es investigadora en el IMIDRA desde 1989, coordinadora del Grupo de Descontaminación de Suelos y Gestión de Residuos del Área de Investigación Agroambiental. Ha coordinado más de 30 proyectos de investigación y 16 convenios con empresas en relación a las temáticas de tratamiento y aplicación de residuos en procesos de recuperación de suelos, así como en la aplicación de diversas tecnologías de descontaminación de suelos tanto biológicas (Biorremediación, Fitorremediación) como físico-químicas (Electrorremediación y Nanorremediación). Ha dirigido 6 tesis doctorales y publicado 106 artículos científicos indexados. Imparte docencia en diversos Másteres y es Profesora honorífica de la Universidad Complutense (Facultad de Biología).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5005-7644>.



Sol López Andrés, es Catedrática del Dpto. de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Su carrera investigadora se ha centrado en la síntesis, caracterización y utilización de diferentes tipos de materiales con valor añadido, a partir de materias primas como residuos industriales, urbanos, naturales, entre otros. Es vicepresidenta de la Junta de Gobierno del Grupo de Cristalografía y Crecimiento Cristalino (GE3C) de la RSEQ y RSEF y directora de la Unidad de Técnicas Geológicas y del Centro de Asistencia a la Investigación de Ciencias de la Tierra y Arqueometría de la UCM. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2052-1674>.



Maximina Romero, es Investigadora Científica del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Anteriormente desarrolló su actividad investigadora en el Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC) y en el Imperial College, Londres. Cofundadora del grupo de investigación MEDES (Materiales y Energía para el Desarrollo Sostenible), cuya actividad científica se centra principalmente en el desarrollo de materiales de valor añadido a partir de residuos y en el desarrollo de tecnologías limpias de procesamiento mediante energías renovables, como la energía solar concentrada. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1563-8149>.



Aurora López-Delgado, es Investigadora Científica del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). La síntesis de materiales de valor añadido a partir del reciclado de residuos industriales y mineros ha impulsado su carrera profesional en el ámbito de la investigación, el desarrollo y la innovación. Cofundadora del grupo de investigación MEDES (Materiales y Energía para el Desarrollo Sostenible), es en la actualidad la coordinadora del Proyecto Z-ONA4LIFE financiado por el Programa Marco de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE) de la Unión Europea. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0121-9501>.

COMITÉ ORGANIZADOR



Aurora López-Delgado
IETCC-CSIC
Investigadora Científica y coordinadora del proyecto
Z-ONA4LIFE

Maximina Romero
IETCC-CSIC
Investigadora Científica



Isabel Padilla
IETCC-CSIC
Científica Titular

Rocío Jarabo Centenero
IETCC-CSIC
Gestora de proyectos



Rita Giuffrida
Trust-IT Services
Analista de investigación

Gabriela Rogowska
Trust-IT Services
Comunicación, difusión y divulgación



Nathaniel Cueter
Trust-IT Services
Comunicación, difusión y divulgación

PROGRAMA	
8:30 - 9:00	Recogida de documentación
9:00 - 9:05	Bienvenida - <i>Dr. José Luis García Calvo</i> (Vicedirector Técnico, IETcc-CSIC)
9:05 - 9:15	Presentación de la Jornada - <i>Dra. Aurora López Delgado</i> (IETcc-CSIC)
9:15 - 9:50	Conferencia invitada Aproximaciones al diseño de síntesis de zeolitas para aplicaciones catalíticas <i>Dr. Joaquín Pérez Pariente</i> (ICP-CSIC)
	SESIÓN 1: Síntesis de zeolitas Moderadora: <i>Dra. Carmen Lobo</i> (IMIDRA)
9:50 - 10:10	Zeolitización como método de fabricación de materiales estructurales ligeros a partir de caolín y residuos plásticos marinos <i>Dr. Jose Manuel Moreno Maroto</i> (UAM)
10:10 - 10:30	Las zeolitas en la química sostenible: síntesis, caracterización avanzada y aplicaciones catalíticas, entre otras <i>Dra. Isabel Díaz</i> (ICP-CSIC)
10:30 - 10:50	Estudio computacional sobre cómo sintetizar zeolitas aluminosilicatos <i>Dr. Germán Sastre</i> (ITQ, UPV-CSIC)
10:50 - 11:10	Proceso de zeolitización de cenizas volcánicas <i>Dra. Sol López Andrés</i> (UCM)
11:10 - 11:40	Café
11:40 - 12:00	Políticas de sostenibilidad de la UE: análisis crítico de la síntesis de zeolitas a partir de residuos <i>Dña. Rita Giuffrida</i> (TRUST-IT)
	SESIÓN 2: Aplicaciones catalíticas, de adsorción y remediación Moderadora: <i>Dra. Sol López Andrés</i> (UCM)
12:00 - 12:20	Viabilidad de zeolitas sostenibles en la recuperación de suelos extremadamente ácidos <i>Dra. Mª del Mar Gil Díaz</i> (IMIDRA)
12:20 - 12:40	Viabilidad de zeolitas sostenibles para descontaminación de suelos <i>Dra. Mª del Mar Gil Díaz</i> (IMIDRA)
12:40 - 13:00	Adsorption of sulphur dioxide on porous materials developed from municipal solid waste incineration fly ash <i>D. Danilo Jara Echeverría</i> (UPM)
13:00 - 13:20	Reciclaje de residuos industriales y agroalimentarios en la síntesis de zeolitas: una vía sostenible para la gestión de escoria salina <i>D. Rafael Carrizosa</i> (IETcc-CSIC)
13:20 - 14:30	Comida

	<p>SESIÓN 3: Aplicaciones en el sector de la construcción Moderadora: <i>Dra. Maximina Romero</i></p>
14:30 - 14:50	<p>Cementos sostenibles a partir de mordenita natural como material cementante suplementario <i>Dra. Leticia Presa</i> (UPM)</p>
14:50 - 15:10	<p>Zeolitas sintéticas: efecto en las propiedades de materiales base cemento <i>Dr. Pedro Carballosa</i> (IETcc-CSIC)</p>
15:10 - 15:30	<p>Transformation of fly ash into zeolite materials and their applications in environmental engineering and construction materials <i>Dr. Tomas Bajda</i> (AGH University of Krakow)</p>
15:30 - 16:05	<p>Conferencia invitada Zeolitas estables con sistemas tridimensionales de poros extragrandes <i>Dr. Miguel Ángel Cambor</i> (ICMM-CSIC)</p>
16:05 - 16:20	Café
16:20 - 17:30	<p>Coloquio: El papel de las Asociaciones de Zeolitas <i>Dr. Enrique Sastre</i> (Delegado Institucional CSIC-CM) <i>Dra. Isabel Díaz</i> (Presidenta del GEZ) <i>Dr. Germán Sastre</i> (Miembro de la Asociación Internacional de Zeolitas) <i>Dr. Joaquín Pérez Pariente</i> (Prof. Investigación ICP-CSIC) <i>Dr. Miguel A. Cambor</i> (Prof. Investigación ICMM-CSIC)</p>
17:30	<p>Clausura <i>Dr. Enrique Sastre</i> (Delegado Institucional CSIC-CM) <i>Dra. Aurora López Delgado</i> (Coordinadora del proyecto Z-ONA4LIFE)</p>

CONFERENCIA INVITADA

APROXIMACIONES AL DISEÑO DE SÍNTESIS DE ZEOLITAS PARA APLICACIONES CATALÍTICAS

J. PÉREZ-PARIENTE

Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, ICP-CSIC. C/Marie Curie 2, 28049 Madrid. jperez@icp.csic.es

RESUMEN

Desde que las zeolitas comenzaron a utilizarse en procesos catalíticos, se reconoció que su actividad y selectividad en una reacción determinada estaban gobernadas no solo por la arquitectura específica del sistema de cavidades (tipo de zeolita) y la concentración de centros activos (en los primeros tiempos, esencialmente centros ácidos Brønsted/Lewis), sino también por otros factores que afectaban a la difusión de reactivos y productos, y a la reactividad intrínseca de los centros activos. Un ejemplo paradigmático lo constituyen los catalizadores de craqueo catalítico basados en la zeolita faujasita. A lo largo de los años, se han diseñado rutas sintéticas específicas destinadas a lograr un control lo más efectivo posible de todos esos factores en un número cada vez mayor de estructuras zeolíticas de interés en catálisis. Para ello se han seguido diferentes estrategias en función del objetivo deseado, que pueden agruparse en tres grandes grupos: a) alteraciones de la textura (tamaño y geometría del cristal, arquitectura microporosa (tamaño y dimensionalidad de los microporos), porosidad intracristalina meso/macroporosa [1], que influyen sobre la accesibilidad/difusión de reactivos y productos; b) distribución de centros activos a escala macroscópica (gradientes de concentración en los cristales), y a nanoescala (localización en distintas posiciones cristalográficas), que afectan a la reactividad global y a la reactividad intrínseca [2], [3]; y c) conformación de la arquitectura microporosa a través de la configuración molecular de los agentes directores de estructura orgánicos (“templates”), que se relaciona con el mecanismo de reacción [4] y es susceptible de conducir, entre otras, a zeolitas quirales [5]. Pero el logro efectivo de esos objetivos requiere aproximaciones imaginativas a la síntesis de materiales zeolíticos, y aunque en varios casos se han conseguido grandes avances, queda mucho camino por recorrer. En la presentación se expondrán los casos de éxito, pero también las preguntas para las que aún no tenemos respuesta.

Palabras clave: Síntesis de zeolitas; centros activos; catálisis; porosidad; quiralidad.

Referencias

- [1] A. Sachse, J. García-Martínez, Surfactant-templating of zeolites: from design to application, *Chem. Mater.* 29 (2017) 3827-3853.
- [2] A. B. Pinar, C. Márquez-Álvarez, M. Grande-Casas, J. Pérez-Pariente, Template-controlled acidity and catalytic activity of ferrierite crystals, *J. Catal.* 263 (2009) 258-265.
- [3] A. B. Pinar, L. Gómez-Hortigüela, L. B. McCusker, J. Pérez-Pariente, Controlling the aluminum distribution in the zeolite ferrierite via the organic structure directing agent, *Chem. Mater.* 25 (2013) 3654-3661.
- [4] E. M. Gallego, M. T. Portilla, C. Paris, A. León-Escamilla, M. Boronat, M. Moliner, A. Corma, “Ab initio” synthesis of zeolites for preestablished catalytic reactions, *Science*, 355 (2017) 1051-1054.
- [5] R. de la Serna, D. Nieto, R. Sainz, B. Bernardo-Maestro, A. Mayoral, C. Márquez-Álvarez, J. Pérez-Pariente, L. Gómez-Hortigüela, GTM-3, an extra-large pore enantioselective chiral zeolitic catalyst, *J. Am. Chem. Soc.* 144 (2022) 8249-8256.

Joaquín Pérez Pariente, es Profesor de Investigación del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP-CSIC). Su labor investigadora se centra en la síntesis de materiales zeolíticos y su evaluación como catalizadores de procesos químicos sostenibles. Es autor de 280 publicaciones, dos libros y otro tres como co-autor. Es académico correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia y miembro de la Junta de Gobierno del Grupo de Historia de la Ciencia de la RSEQ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5322-9528>.

CONFERENCIA INVITADA

ZEOLITAS ESTABLES CON SISTEMAS TRIDIMENSIONALES DE POROS EXTRAGRANDES

M. A. CAMBLOR

Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid, ICMM-CSIC, C/Sor Juana Inés de la Cruz 3, 28049 Madrid.
macamblor@icmm.csic.es

RESUMEN

El tamaño y la dimensionalidad de los poros de las zeolitas son importantes para sus aplicaciones. Poros grandes que se cruzan a lo largo de las tres direcciones maximizan la difusión de huéspedes, adsorbentes, reactivos y productos y minimizan la sobrerreacción y la obstrucción de los poros. Esto explica el gran éxito de las zeolitas de tipo FAU, que contienen un sistema 3D de poros grandes (abiertos a través de ventanas de 12 tetraedros Si(Al)O₄, 12R). Sin embargo, hasta hace poco no se conocía ninguna zeolita estable con un sistema 3D de poros cruzados extragrandes (>12R, ELP), ya que los únicos sistemas de este tipo no eran realmente zeolitas sino estructuras interrumpidas con composición de germanosilicato o galiofosfato y, por tanto, una estabilidad intrínsecamente baja. Recientemente hemos descubierto tres zeolitas basadas en sílice con 3D ELP, una elevada estabilidad térmica e hidrotérmica y un rendimiento catalítico y/o de adsorción mejorado. El aluminosilicato ZEO-1 se preparó mediante síntesis hidrotérmal directa [1]. El silicato ZEO-3 mediante una condensación topotáctica 1D-a-3D sin precedentes a partir de un silicato en cadena [2]. Finalmente, el silicato ZEO-5 se preparó mediante una reacción de expansión intercadenas igualmente sin precedentes a partir del mismo silicato en cadena [3]. La estructura de las tres zeolitas se determinó mediante cRED, y todas muestran una conectividad tetraédrica completa, una densidad decreciente que se aproxima a la del agua en el caso de ZEO-5 (1,1 gcm⁻¹) y una superficie muy grande (de 1000 a más de 1500 m²g⁻¹).

Palabras clave: Zeolitas; poros extragrandes; alta estabilidad; catálisis; adsorción.

Referencias

- [1] Q. F. Lin, Z. R. Gao, C. Lin, S. Zhang, J. Chen, Z. Li, X. Liu, W. Fan, J. Li, X. Chen, M.A. Cambor, A stable aluminosilicate zeolite with intersecting three-dimensional extra-large pores, *Science*, 374-6575 (2021), 1605-1608. DOI: 10.1126/science.abk3258.
- [2] J. Li, Z. R. Gao, Q. F. Lin, C. Liu, F. Gao, C. Lin, S. Zhang, H. Deng, A. Mayoral, W. Fan, S. Luo, X. Chen, H. He, M. A. Cambor, F. J. Chen, J. Yu, A 3D extra-large-pore zeolite enabled by 1D-to-3D topotactic condensation of a chain silicate, *Science*, 379- 6629 (2023), 283-287. DOI: 10.1126/science.ade1771.
- [3] Z. R. Gao, H. Yu, F. J. Chen, A. Mayoral, Z. Niu, Z. Niu, X. Li, H. Deng, C. Márquez-Álvarez, H. He, et al., Interchain-expanded extra-large-pore zeolites, *Nature*, 628 (2024), 99–103.

Miguel A. Cambor, es profesor de investigación en el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC) y lleva más de 35 años estudiando la síntesis, caracterización fisicoquímica y estructural y aplicaciones de las zeolitas. Esta labor se ha desarrollado en tres institutos del CSIC (ICP, ITQ e ICMM), en una universidad norteamericana como Postdoctoral Fulbright Fellow (CalTech) y en una industria química privada (Industrias Químicas del Ebro, Zaragoza), donde fue director del departamento de investigación y desarrollo.

ZEOLITIZACIÓN COMO MÉTODO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES LIGEROS A PARTIR DE CAOLÍN Y RESIDUOS PLÁSTICOS MARINOS

J. M. MORENO-MAROTO^{1*}, M. REGADÍO¹, R. FERNÁNDEZ¹, J. CUEVAS¹, A. I. RUIZ¹, J. ALONSO-AZCÁRATE²

¹ Dpto. de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049, Madrid.

*josemanuel.moreno@uam.es; mercedes.regadio@uam.es; raul.fernandez@uam.es; jaime.cuevas@uam.es; anai.ruiz@uam.es

² Universidad de Castilla-La Mancha, Dpto. de Química-Física, Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica, Avenida Carlos III, s/n, 45071 Toledo. jacinto.alonso@uclm.es

RESUMEN

Las basuras marinas, y más concretamente la denominada fracción plástico mezcla (FPM), generan un impacto ambiental y socioeconómico de gran envergadura. Este estudio propone el reciclaje de la FPM como componente tecnológico en la fabricación de una nueva generación de materiales estructurales obtenidos por zeolitización hidrotermal. Para ello, se ha estudiado la combinación de caolín con 5-10% FPM molido <1mm. Se conformaron pellets redondeados de ~ 10 mm de diámetro. Tras secarse en estufa, se cocieron a 600°C, facilitando la formación de porosidad por la combustión del plástico. En base al nuevo método de fabricación desarrollado por Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate [1], los áridos ligeros obtenidos se trataron hidrotermalmente durante 24 h, empleando para ello reactores de acero con vaso de teflón, estudiando distintas concentraciones de NaOH (2, 3 y 4 mol/L) y temperaturas (90, 120 y 150°C), manteniendo una relación líquido/sólido de 8 ml/g. Se eliminó el sobrenadante, se lavó el material hasta pH neutro, se secó en estufa y finalmente se caracterizó. El tratamiento hidrotermal ha favorecido una importante cristalización de zeolitas y feldespatoides, algo especialmente acentuado al añadir FPM. Destaca la formación de zeolita A (32-44%), cuya proporción disminuye al aumentar la temperatura de tratamiento y la molaridad de la solución a favor de otras fases, como cancrinita, hidrosodalita, sodalita, phillipsita, nefelina y analcima. A pesar de que la estructura es ligera (densidad de partícula en torno a 1,7 g/cm³), la resistencia mecánica ha aumentado sustancialmente con el tratamiento hidrotermal, pasando de 0,1 MPa (muestra no tratada hidrotermalmente) a 2,1 – 3,4 MPa tras la zeolitización. Los resultados de este estudio muestran que el método de síntesis hidrotermal propuesto podría ser una alternativa en la fabricación de materiales de construcción a temperaturas más bajas. Además, el alto contenido en zeolita podría aportar capacidad descontaminante al material, algo no habitual en las cerámicas convencionales. También se ha demostrado que este nuevo enfoque puede dar cabida a residuos muy problemáticos, como los plásticos marinos, que ahora pueden actuar como componentes altamente tecnológicos.

Palabras clave: Tratamiento hidrotermal; materiales de construcción zeolíticos; áridos ligeros; residuos plásticos marinos; caolín.

Referencias

[1] J. M. Moreno-Maroto, J. Alonso-Azcárate. Hydrothermal zeolitization: Towards a paradigm shift for producing stronger and more sustainable construction materials. *Constr. Build. Mater.* (2024) 427, 136269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136269>.

José Manuel Moreno, se doctoró en 2019 en Ciencias de los Materiales por la Universidad de Castilla-La Mancha. Su tesis doctoral cuenta con varios premios, destacando el Premio Extraordinario de Doctorado y el Premio a la Mejor Tesis Doctoral de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Tras realizar varias estancias de investigación, desde 2022 trabaja como profesor del Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid. Hasta la fecha, cuenta con unas 40 publicaciones en revistas de alto impacto y 5 patentes. Actualmente es Investigador Principal de los proyectos competitivos OZEONIC y ZEUS, ligados a la fabricación de materiales estructurales sostenibles mediante zeolitización hidrotermal. También es IP de un proyecto sobre el desarrollo de áridos ligeros a partir de residuos, en este caso para la empresa ACCIONA.

LAS ZEOLITAS EN LA QUÍMICA SOSTENIBLE: SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN AVANZADA Y APLICACIONES CATALÍTICAS, ENTRE OTRAS.

I. DÍAZ, E. SASTRE, M. SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, R. M. BLANCO, C. MÁRQUEZ-ÁLVAREZ, L. GÓMEZ-HORTIGÜELA, M. GRANDE-CASAS, J. PÉREZ PARIENTE
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, ICP-CSIC. C/Marie Curie 2, 28049 Madrid.

RESUMEN

El objetivo de esta contribución es presentar las líneas de investigación del Grupo de Tamices Moleculares (GTM) del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, ICP-CSIC, con especial énfasis en aquellas que están directamente relacionadas con las zeolitas y materiales nanoporosos sostenibles, y sus aplicaciones novedosas en catálisis y depuración de aguas. Además, se presentará el Grupo Español de Zeolitas de la Sociedad Española de Catálisis, y sus actividades.

El GTM, de carácter multidisciplinar, está integrado por especialistas en química de materiales y catálisis, microscopía electrónica de transmisión y química computacional, así como en catálisis enzimática, con el objetivo de reforzar la sinergia entre la catálisis inorgánica y la enzimática. El área principal de investigación del grupo está relacionada con la química sostenible, concretamente la síntesis, caracterización y aplicación de materiales zeolíticos y nanoporosos como catalizadores en la producción de combustibles con baja huella de carbono y compuestos químicos de alto valor añadido (transformación de metanol en hidrocarburos), así como la mejora de los procesos tradicionales de los sectores energético y químico, la reducción de su impacto ambiental y la optimización de los recursos naturales [1]. Recientemente se han desarrollado una serie (GTM-x) de materiales basados en zeolitas quirales con poros extragrandes y helicoidales que se enriquecen en uno de los polimorfos enantiomórficos mediante el uso de cationes orgánicos quirales simples derivados de alcaloides de efedrina, abriendo el camino para el uso de materiales zeolíticos quirales accesibles para la síntesis catalítica asimétrica de compuestos farmacéuticos quirales [2]. Asimismo, el grupo ha sido pionero en el desarrollo de diferentes metodologías sostenibles de la síntesis de materiales MOFs (Metal-Organic Frameworks) [3a], que entre otras aplicaciones han posibilitado la inmovilización de enzimas; también las enzimas se han inmovilizado sobre materiales mesoporosos diseñados racionalmente para ese objetivo [3b]. En cuanto a la combinación de soportes zeolíticos con catálisis enzimática, el desarrollo de métodos de síntesis sostenibles en torno a diferentes composiciones ha permitido consolidar una nueva línea de trabajo relacionada con la catálisis enzimática [3]. Por último, una línea de investigación del grupo se centra en el uso de zeolitas naturales en la eliminación de fluoruro y arsénico del agua potable, así como otros usos relacionados con zeolitas preparadas a partir de fuentes naturales [4].

Palabras clave: Nanocatalysis; MTH; chirality; immobilized enzymes; MOF; natural zeolites.

Agradecimientos:

El GTM agradece la financiación del MCIN/AEI códigos: PID2022-136321OB-C21/, PID2022-138481NB-100 y TED2021-130211B-C33 AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE.

Referencias

- [1] **a)** A. Vidal de la Fuente, y Col., Generation of mesoporosity in crystals of zeolite omega by post-synthesis treatments with surfactants. *Catal. Today* 425 (2024). **b)** M. García; y Col., Transformation of Methanol to Hydrocarbons (MTH): Comparison Between MeAPO-36 (Me=Zn, Co, Mg) and Modified ZSM-5 Catalysts. *Catal. Letters* 153 (2022).
- [2] **a)** R. de la Serna, y Col., GTM-3, an extra-large pore enantioselective chiral zeolitic catalyst, *J. Am. Chem. Soc.* 144 (2022). **b)** R. de la Serna, y Col., Inversion of chirality in GTM-4 enantio-enriched zeolite driven by a minor change of the structure-directing agent, *Chem. Commun.* 58 (2022).
- [3] **a)** M. Sánchez-Sánchez, y Col., Synthesis of Metal-Organic Frameworks in water at room temperature: Salts as linker sources. *Green Chem.* 17 (2015). **b)** I. Díaz, y Col., "Biocatalysis on porous materials" Chapter 7 in *Zeolites and Metal-Organic Frameworks. From Lab to Industry*. Editors: Vincent Blay, Luis F. Bobadilla, Alejandro Cabrera-García. Publisher: Atlantis Press - Amsterdam University Press ISBN 9789462985568 March 2018.
- [4] I. Díaz, Environmental uses of Zeolites in Ethiopia. *Catal. Today* 285 (2017).

Isabel Díaz, es doctora en Químicas por la UAM (2001), con Premio Extraordinario de Doctorado. Fue becaria Fulbright en EEUU en la Universidad de Massachusetts y en la Universidad de Minnesota durante 2002 y 2003. En 2007 fue galardonada con el Premio de la RSEQ a Jóvenes Investigadores. Actualmente es Investigadora Científica en el ICP-CSIC, y Profesora Asociada en el Dpto. de Química de la Universidad de Addis Abeba, Etiopía. Sus principales áreas de investigación son: síntesis y caracterización de zeolitas y materiales porosos híbridos para su aplicación en catálisis, con especial interés en los estudios de Microscopía Electrónica de Transmisión. Sus líneas de investigación incluyen en la actualidad el uso de zeolitas naturales en la eliminación de fluoruro y arsénico de las aguas potables en Etiopía, Kenia, Tanzania y la India. Ha colaborado con la Unidad de Mujeres y Ciencia del MICIN. En junio de 2022 fue nombrada Vicepresidenta Adjunta de Internacionalización y Cooperación del CSIC.

ESTUDIO COMPUTACIONAL SOBRE CÓMO SINTETIZAR ZEOLITAS ALUMINOSILICATOS

O. F. ALTUNDAL, G. SASTRE

Instituto de Tecnología Química, UPV-CSIC, Av. Los Naranjos s/n 46022 Valencia. ofaltun1@itq.upv.es; gsastre@itq.upv.es

RESUMEN

Las zeolitas están formadas por tetraedros conectados por vértices, dando lugar a sólidos microporosos con aplicaciones en separación y catálisis. Originalmente descubiertas como minerales aluminosilicatos en 1756, se conocen aproximadamente 60 naturales, con composición $M^{n+}_aAl_xSi_{1-x}O_2$ ($x=n-a$), siendo M un catión inorgánico localizado en el microporo. Por primera vez en 1862 se obtuvieron por síntesis en laboratorio mediante el método hidrotermal, a partir de un gel de sílice-alúmina en medio básico, a 140-200 °C, en autoclave. En 1960 Barrer sustituyó los cationes inorgánicos por orgánicos, típicamente moléculas con nitrógenos cuaternarios, facilitando la síntesis de nuevas zeolitas hasta las más de 255 conocidas actualmente [1]. No todas las composiciones químicas son posibles; 99 zeolitas existen como aluminosilicatos, de las cuales 35 también son sílice, y 36 zeolitas que no existen como aluminosilicatos sí están disponibles como sílice. Además del catión orgánico, otras variables (composición del gel, tiempo, pH, temperatura) también son importantes. Hay pocos estudios capaces de racionalizar las composiciones químicas más favorables para cada estructura. Nuestros recientes estudios permiten proponer una explicación.

Hemos usado la base de datos OSDB, con información bibliográfica sobre los cationes orgánicos utilizados para la síntesis de cada zeolita. Seleccionando de 19 zeolitas de interés, reducimos el número de cationes orgánicos, de 455 a 121. Con nuestro software (zeoTsda) basado en potenciales interatómicos, optimización de geometría y Monte Carlo, obtenemos la energía y las posiciones atómicas de la celda unidad: zeolita+'catión orgánico' correspondiente al máximo (óptimo) número de cationes orgánicos que caben en el microporo, todo ello para las 19×121 combinaciones seleccionadas. Con los valores energéticos obtenidos y la reciente definición de 'energía de síntesis' [2], obtenemos un valor energético cuyo mínimo, para cada catión orgánico, nos da la predicción de la zeolita aluminosilicato que se obtendría en la síntesis. Los resultados indican que, con estos 121 cationes orgánicos, sólo hay unas pocas zeolitas (AEI, CHA, BEA) favorables como aluminosilicatos en ausencia de aniones fluoruro.

Palabras clave: Zeolitas; aluminosilicatos; agente director de estructura.

Referencias

- [1] A. F. Masters, T. Maschmeyer, Zeolites – From curiosity to cornerstone, *Microporous Mesoporous Mater.* 142 (2011) 423–438. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2010.12.026>.
- [2] O. F. Altundal, S. Leon, G. Sastre, Different Zeolite Phases Obtained with the Same Organic Structure Directing Agent in the Presence and Absence of Aluminum: The Directing Role of Aluminum in the Synthesis of Zeolites, *J. Phys. Chem. C* 127 (2023) 10797–10805. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c01567>.

German Sastre es, desde 2008, Investigador Científico en el Instituto de Tecnología Química Valencia, España, y pertenece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Estudió Física y Química en la Universidad de Valencia, donde se licenció en Química en 1990 y posteriormente realizó un doctorado en Química. Realizó una estancia postdoctoral de 2 años en el DavyFaraday Research Laboratory (Londres) en el grupo del Prof. Richard Catlow. Ha sido investigador visitante en el Imperial College (Londres), el University College London, la Universidad de Perth (Australia) y la Universidad de Tottori (Japón). Tiene 160 publicaciones en Química Física como: Catálisis y Separación; Química Cuántica; Métodos Computacionales; y Materiales Microporosos. La mayoría de sus artículos tratan sobre zeolitas y marcos metal-orgánicos, pero también está interesado en temas de materia blanda, como las interacciones ligando-receptor fármaco-proteína. Es miembro de la Comisión de Estructuras (Asociación Internacional de Zeolitas), y trabaja como revisor de proyectos o miembro de paneles de un gran número de instituciones de financiación científica de todo el mundo.

PROCESO DE ZEOLITIZACIÓN DE CENIZAS VOLCÁNICAS

S. LÓPEZ-ANDRÉS

Dpto. de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM. Madrid. antares@ucm.es

RESUMEN

El volcán de Tajogaite en 2021 en la isla de La Palma generó el depósito de grandes cantidades de ceniza volcánica en la isla, más de 45 millones de m³ [1]. Una parte importante de este material se acumuló en zonas urbanas y fue catalogado como un residuo municipal de limpieza variada (Código 20 03 03) por el Catálogo Europeo de Residuos, con destino a vertedero. Su utilización para poner fin a la condición de residuo es una línea prioritaria para la UE [2] e incentiva la economía circular y diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU.

En este trabajo, se presenta una de las posibles aplicaciones de estas cenizas [3], su transformación mediante síntesis hidrotermal con fusión alcalina previa en zeolitas (zeolita tipo A, zeolita tipo X y sodalita) y el uso de este material con valor añadido para la adsorción del fluor, elemento químico presente en la superficie de las partículas de ceniza volcánica en forma de minerales secundarios solubles en agua.

El proceso de zeolitización a partir de las cenizas volcánicas implica una activación alcalina con NaOH a 550°C en la que se produce la destrucción de las principales fases cristalinas de la ceniza (kaersutita, labradorita, olivino, diópsido, titanomagnetita, ilmenita y hematites) formándose carbonatos de sodio y oxihidróxido de aluminio y sodio hidratado de elevada solubilidad que al mezclarse con agua y calentarse a 100°C se disuelven. En la primera hora de incubación, se origina un gel amorfo aluminosilicatado y a partir de las dos horas se observa la aparición de las zeolitas hidratadas tipo A y X metaestables y en menor proporción sodalita. El tiempo de incubación y la desaparición del medio acuoso provoca que estas dos zeolitas vayan desapareciendo a favor de sodalita, zeolita anhidra.

La sodalita obtenida reduce el contenido en flúor de un agua de lixiviación volcánica en un 41,4% a un pH ácido (5,8).

Palabras clave: Sodalita; adsorción; flúor.

Referencias

[1] J. C. Carracedo, V. R. Troll, J. M. D. Day, H. Geiger, M. Aulinas, V. Soler, F. M. Deegan, G. Gisbert, E. Gazel, H. Albert, The 2021 eruption of the Cumbre Vieja volcanic ridge on La Palma, Canary Islands., *Geology Today*, 38 (2021), 94-107.

[2] Directiva 2008/98/EC del Parlamento Europeo y del Consejo

[3] C. Belviso, M. Abdolrahimi, D. Peddis, E. Gagliano, M. Sagroi, A. Lettino, P. Roccaro, F. G. A. Vagliasindi, P. P. Falciglia, G. Di Bella, M. G. Giustra, F. Cavalvante, Synthesis of zeolite from volcanic ash: Characterization and application for cesium removal, *Microporous Mesoporous Mater.*, 319 (2021), 111045.

Sol López Andrés, es Catedrática del Dpto. de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Su carrera investigadora se ha centrado en la síntesis, caracterización e utilización de diferentes tipos de materiales con valor añadido a partir de materias primas como entre otros residuos industriales, urbanos, naturales, etc. Es vicepresidenta de la Junta de Gobierno del Grupo de Cristalografía y Crecimiento Cristalino (GE3C) de la RSEQ y RSEF y directora de la Unidad de Técnicas Geológicas y del Centro de Asistencia a la Investigación de Ciencias de la Tierra y Arqueometría de la UCM.

FILLING SUSTAINABILITY POLICY GAPS IN THE EU CONTEXT: A CRITICAL ANALYSIS OF ZEOLITE WASTE REDUCTION AND RECYCLING

R. GIUFFRIDA, C. DE MAJO, M. GIUFFRIDA, G. ROGOWSKA

Trust-IT Services srl. Italy. r.giuffrida@trust-it-services.com; c.demajo@trust-it-services.com; m.giuffrida@trust-it-services.com; g.rogowska@trust-it-services.com

ABSTRACT

Within the industrial sector, zeolite is considered a crucial class of inorganic materials due to its diverse potential applications. These employments span technical, environmental, industrial, commercial, agricultural, cracking and alkylation processes, and biomedical applications. This versatility is given by the zeolite's porous nature and its ion-exchange properties. Zeolites serve as chemical sensors in industrial process control, environmental mitigation efforts (including heavy metals removal and gas capture), and indoor air quality and medical monitoring applications. Consequently, they have gained increased attention in both research and industrial domains. Nonetheless, gaps in the scientific literature still signal scattered contributions in relation to zeolite's adoption.

This paper aims, therefore, to fill this gap by providing a critical analysis of the adoption of sustainable practices linked to waste reduction and zeolite recycling in Europe. The research is conducted as part of the EU-funded project Z-ONA4LIFE and relies on a mixed methodology consisting of a preliminary workshop conducted with Spanish experts to gather insights on zeolite adoption models, the challenges to adoption and the possible drivers for its further diffusion, specifically focusing on the industrial, research and policy contexts. The workshop's results provided insights into circular economy practices that can contribute to sustainable business models across several emerging industrial sectors, fruitful academic-industry cooperation, industrial scaling-up and educational initiatives. Building on the workshop's results, a tentative set of hypotheses was formulated. These will then be validated via a European-wide open consultation, which is currently ongoing. The combined results of the workshop and the open consultation will be analysed to offer a blueprint to advance circular economy practices and advance the sustainable use of zeolite.

Keywords: Zeolite; sustainability; circular economy; industry; policymaking.

Acknowledge:

Authors thank EU LIFE Programme for funding the Project 101114027-LIFE22-ENV-ES-ZONA4LIFE

Rita Giuffrida, holds an MSc in Industrial Engineering from Politecnico di Milano and an MBA in Innovation, Enterprise, and Circular Economy from the University of Bradford. With over 10 years of professional experience, she has built expertise in supply chain management, having served as a Supply Planning Manager and Project Manager at multinational food companies. Additionally, Rita has contributed to research and innovation projects in the role of Communication and Dissemination Officer. Currently, she is the Communication Manager for the Z-ONA4LIFE project and starting from 2024, she is an Observing member of the Working Group UNI/CT057 on Circular Economy.

VIABILIDAD DE ZEOLITAS SOSTENIBLES EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS EXTREMADAMENTE ÁCIDOS

M. GIL-DÍAZ, C. MANCHO, J. ALONSO, S. DIEZ-PASCUAL, M. C. LOBO
IMIDRA, Finca "El Encín". Autovía A-2, km 38,2. 28805 Alcalá de Henares (Madrid). mar.gil.diaz@madrid.org

RESUMEN

Uno de los principales problemas de las zonas mineras es la acidificación del suelo debido a la oxidación del mineral pirita, que incrementa la movilidad de los metales en el suelo. Las zeolitas obtenidas a partir de residuos de la industria del aluminio presentan un pH fuertemente alcalino y cierta capacidad de adsorción, por lo podrían resultar efectivas para incrementar el pH del suelo y reducir la movilidad de metales. El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad de una zeolita sostenible para disminuir la acidez de un suelo determinando su impacto en las propiedades físico-químicas del suelo y en la movilidad de metales (Co, Cr, Cu, Ni y Zn). Para ello, se realizó un ensayo de interacción en microcosmos utilizando un suelo con pH extremo ($\text{pH} < 4$) comparando el efecto de la zeolita (Z) con la de otros agentes (nanopartículas de hierro (NP), carbonato cálcico (A), y compost de lodo de depuradora (CP)), así como de la combinación de cada agente con compost. Se estudiaron dos tiempos de muestreo, 7 y 30 días. Los resultados mostraron que Z y Z+CP incrementaron el pH del suelo, aunque en menor medida que el tratamiento alcalino con carbonato cálcico, consiguiendo disminuir significativamente el aluminio intercambiable. Los tratamientos combinados con compost mejoraron las características de fertilidad del suelo. En las condiciones del ensayo, Z y ZCP redujeron la disponibilidad de Cr, Cu y Zn, pero no de Co y Ni. Las principales diferencias entre 7 y 30 días se detectaron para el Cr y Zn, incrementándose la inmovilización con el tiempo. Entre los diferentes agentes estudiados, Z y Z+CP presentaron los mejores resultados para la reducción de la movilidad de Cr. Estos resultados ponen de manifiesto que la combinación de zeolitas sostenibles y compost podría ser una estrategia viable para la remediación de suelos ácidos contaminados, contribuyendo así a los principios de economía circular si bien son necesarios estudios con otros suelos, otras dosis y a más largo plazo para optimizar las condiciones y determinar la estabilidad de la inmovilización en el tiempo.

Palabras clave: Economía circular; contaminación; residuos de industria aluminio; suelo ácido; zeolita.

Agradecimientos

FP-24 RECUPERA (IMIDRA), PDI2023-149788OB-C21 (Financiado por MCIU /AEI /10.13039/501100011033/ FEDER, UE).

VIABILIDAD DE ZEOLITAS SOSTENIBLES PARA DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS

M. GIL-DÍAZ¹, C. MANCHO¹, R. A. PÉREZ², B. ALBERO², J. ALONSO¹, S. DIEZ-PASCUAL¹, M. C. LOBO¹

¹IMIDRA. Finca "El Encín". Autovía A-2, km 38,2. 28805 Alcalá de Henares (Madrid). mar.gil.diaz@madrid.org

²INIA-CSIC. Autovía A-6, km 7.5. 28040 Madrid.

RESUMEN

La contaminación del suelo está considerada una de sus principales amenazas ya que compromete su funcionalidad. Las zeolitas obtenidas a partir de residuos de la industria del aluminio presentan capacidad de adsorción, por lo podrían resultar efectivas para reducir la movilidad de contaminantes en el suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad de dos tipos de zeolitas, LTA y NAP, para inmovilizar metales y/o degradar PCBs en un suelo con contaminación mixta. Se ensayaron dos dosis de zeolitas, y se comparó con un tratamiento con nanopartículas de hierro en un suelo ácido contaminado con PCBs, As, Pb y Ni. Se realizó un ensayo de interacción en microcosmos estudiando dos tiempos de muestreo, 7 y 30 días. Se monitorizó el pH y el potencial redox de los suelos y se evaluó el efecto en las propiedades físico-químicas del suelo, la disponibilidad de As, Pb y Ni mediante el test TCLP, el contenido en PCBs y la fitotoxicidad. Los resultados mostraron que la aplicación de zeolitas incrementó el pH de los suelos, especialmente con la zeolita LTA, así como la conductividad eléctrica, si bien los valores alcanzados se encentraron dentro del rango considerado normal para suelos. Paralelamente se detectó un aumento de la concentración de sodio intercambiable proporcional a la dosis, especialmente para la zeolita NAP, si bien no supuso un incremento de la fitotoxicidad. Se observó distinta efectividad para reducir la disponibilidad de los contaminantes, en general, inferior al tratamiento con nanopartículas, siendo LTA más efectiva para As y Ni y NAP para Pb. El tratamiento con zeolitas no afectó significativamente al contenido en PCBs. Estos resultados ponen de manifiesto que las zeolitas obtenidas a partir de residuos de la industria del aluminio podrían utilizarse en procesos de descontaminación de suelos, contribuyendo a los principios de economía circular. Sin embargo, son necesarios estudios con otras dosis de zeolitas y/o en combinación con otros agentes para incrementar su efectividad sin afectar negativamente a las propiedades del suelo.

Palabras clave: economía circular; contaminación mixta; residuos de industria aluminio; suelo; zeolita.

Agradecimientos

FP-24 RECUPERA (IMIDRA), PDI2023-149788OB-C21 (Financiado por MCIU /AEI /10.13039/501100011033/ FEDER, UE).

M^a del Mar Gil Díaz, Doctora en CC. Químicas, Investigadora en el grupo de descontaminación de suelos y gestión de residuos del IMIDRA. Cuenta con más de 20 años de experiencia en la aplicación de técnicas tanto físico-químicas como biológicas de descontaminación de suelos, habiendo publicado más de 40 artículos en revistas indexadas. Participa en Comités de revisión de proyectos nacionales e internacionales, editora asociada de la revista 3Biotech, y actualmente codirige una tesis doctoral sobre el uso de nuevos materiales en agricultura.

ADSORPTION OF SULPHUR DIOXIDE ON POROUS MATERIALS DEVELOPED FROM MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION FLY ASH

D. JARA-ECHEVERRÍA¹, A. LEOST², E. ROHAUT², J.A. DÍAZ-LÓPEZ¹, E. ATANES-SÁNCHEZ¹, A. NIETO-MÁRQUEZ¹

¹Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Dept. of Mechanical, Chemical and Industrial Design Engineering, ETSIDI, 28012 Madrid, Spain. danilo.jarae@upm.es, jose.dlopez@upm.es, evangelina.atanes@upm.es, antonio.nieto@upm.es.

²ENSIACET, 4, allée Emile Monso - CS 44362 - 31030 TOULOUSE Cedex 4, France. emma.rohaut@etu.toulouse-inp.fr, audrey.leost@etu.toulouse-inp.fr.

ABSTRACT

As the amount of Municipal Solid Waste (MSW) generated in the World is growing continuously, incineration is still necessary and must be considered in order to reduce the amount of waste that ends deposited in landfills. During incineration, combustion of MSW takes place and produces, among others, fly ash, characterised by low density and small particle size that exit the incinerator with the flue gas (MSWI-FA). MSWI-FA is defined as hazardous waste due to its high concentration of chlorides, total dissolved solids, and heavy metals such as Zn, Cd, Cr and Pb, that can leach to the environment [1].

Potential reutilisation routes of MSWI-FA are currently being explored in order to take these materials back into the value chain, in line with circular economy principles. MSWI-FA, with a high content of CaO, as well as other oxides, such as SiO₂ and Al₂O₃, show the potential of being transformed into porous (zeolite-like) materials, with multiple applications in fields like catalysis and adsorption [2].

MSWI-FA obtained from two waste incineration plants in Spain have been treated on the basis of a previous method developed by our group, resulting in treated fly ash (MSWI-TFA) that were successfully converted into non-hazardous materials. These MSWI-TFA, with a very limited porosity, were subjected to alkaline activation, in order to transform silica and alumina compounds, as well as metal cations and water, into crystalline aluminosilicate. The so treated materials were thoroughly characterized in terms of X-Ray Diffraction, adsorption-desorption of N₂ at 77 K, acid-base titration and thermogravimetry, and were evaluated in the adsorption of SO₂ in a thermogravimetric analyzer, registering the weight gain when contacting the adsorbent with a 120 cm³ s⁻¹ SO₂/N₂ stream (500-10000 ppm SO₂). Different activation strategies were conducted; simultaneous and consecutive to the stabilization treatment stage, and characterization results strongly exhibited an increase in surface area and a higher amount of surface basic sites upon activation. These results were consistent with an increase in adsorption capacity, reaching SO₂ uptake values up to an order of magnitude higher than the non-activated fly ash.

Keywords: MSW fly ash; alkaline activation; sulphur dioxide adsorption.

References

[1] J. Tang, M. Su, Q. Wu, L. Wei, N. Wang, E. Xiao, H. Zhang, Y. Wei, Y. Liu, C. Ekberg, B. Steenari, T. Xiao. Highly efficient recovery and clean-up of four heavy metals from MSWI fly ash by integrating leaching, selective extraction and adsorption. *J. Clean. Prod.* 234 (2019), 139–149.

[2] Y. J. Lin, J. C. Chen, Resourcization and valorization of waste incineration fly ash for the synthesis of zeolite and applications. *J. Environ. Chem. Eng.* 9 (2021), 1-7.

Danilo Jara Echeverría, Ingeniero Químico por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) de Ecuador, y Máster en Ingeniería Química por la Universidad de Granada (España). Doctorando en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI – UPM). Actualmente trabajo en un proyecto de investigación denominado “Upgrading fly ash from Municipal Solid Waste incineration (RSUp!)”, financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023, referencia PID2021-126499OB-I00”.

RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y AGROALIMENTARIOS EN LA SÍNTESIS DE ZEOLITAS: UNA VÍA SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE ESCORIA SALINA

R. CARRIZOSA¹, I. PADILLA¹, M. ROMERO¹, M. T. RITTER², M. A. LOBO RECIO², A. LÓPEZ-DELGADO¹

¹ Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), C/ Serrano Galvache 4, 28033, Madrid.

² Department of Environmental Engineering, Federal University of Santa Catarina (UFSC), Campus Reitor João David Ferreira Lima, 88040-900 Florianópolis, SC, Brazil
rafael.carrizosa@ietcc.csic.es; isabel.padilla@ietcc.csic.es; mromero@ietcc.csic.es; magaliritter@gmail.com; maria.lobo@ufsc.br; alopezdelgado@ietcc.csic.es

RESUMEN

El desarrollo sostenible se ha consolidado como una prioridad global, dado que el impacto antropogénico sobre el medio ambiente se ha incrementado considerablemente en el último siglo debido un consumo exacerbado y a la drástica disminución de los recursos naturales. Encontrar métodos de producción sostenibles es esencial para no comprometer las necesidades de las generaciones futuras. En este sentido, uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la sociedad es la gestión sostenible de residuos.

En este contexto, la escoria salina de aluminio es uno de los principales residuos derivados de la metalurgia de aluminio secundario. Se considera un residuos peligroso por su alta reactividad con la humedad o el agua [1], y debe gestionarse adecuadamente. Por otro lado, otros residuos industriales, como el calcín producido en la industria vidriera, o la ceniza de cáscara de arroz y los lodos de diatomeas, procedentes de la industria agroalimentaria, aunque no se clasifican como peligrosos, puede ocasionar daños medioambientales si no se gestionan adecuadamente [2].

El objetivo principal de este trabajo es la síntesis sostenible de zeolitas mediante el reciclado de escoria salina de aluminio y otros residuos industriales y agroalimentarios que aporten el contenido en silicio necesario para la formulación de las zeolitas. A través de un proceso de síntesis hidrotermal, se estudia el efecto de la temperatura, tiempo y concentración de agente alcalinizante en la formación de diferentes tipos de zeolitas y en su grado de cristalinidad. Asimismo, se estudia la influencia de la naturaleza cristalina o amorfa de las fases de SiO₂ presentes en los diferentes residuos de silicio, así como su solubilidad y disponibilidad sobre las zeolitas obtenidas, principalmente NaP, LTA y SOD.

Palabras clave: Escoria salina; síntesis hidrotermal; reciclado de residuos; zeolita LTA; zeolita NaP; sodalita.

Agradecimientos:

Los autores agradecen la financiación recibida por del programa LIFE EU (Project 101114027-LIFE22-ENV-ES-ZONA4LIFE).

Referencias

[1] I. Padilla, M. Romero, S. López-Andrés, A. López-Delgado, Sustainable Management of Salt Slag, Sustainability, 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14094887>.

[2] M. T. Ritter, M. Á. Lobo-Recio, I. Padilla, M. Romero, A. López-Delgado, Salt slag and rice husk ash as raw materials in zeolite synthesis: Process optimization using central composite rotational design, Sustain. Chem. Pharm. 39 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101599>.

Rafael Carrizosa, es Graduado en Química por la Universidad Autónoma de Madrid (2023) y actualmente se encuentra cursando el máster en Ciencia y Tecnología Química (UNED). Desarrolló su Trabajo de Fin de Grado en el grupo Materiales y Energía Para un Desarrollo Sostenible (MEDES) del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC) y desde entonces forma parte del mismo grupo desarrollando zeolitas basadas en materias primas no convencionales, dentro del proyecto Z-ONA4LIFE.

CEMENTOS SOSTENIBLES A PARTIR DE MORDENITA NATURAL COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO

I. DÍAZ¹, L. PRESA², S. ROSADO³, J. L. COSTAFREDA², D. A. MARTÍN²

¹Instituto de Catálisis y Petroleoquímica. CSIC. C/ Marie Curie, 2, 28049 Madrid.

²ETSI Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21, 28003 Madrid.

leticia.presa.madrigal@upm.es

³Fundación Gómez Pardo. C/ Alenza, 1, 28003 Madrid. santiago.rosado@fgomezpardo.es, idiaz@csic.es

RESUMEN

Durante la producción de cemento Portland, se emiten grandes cantidades de CO₂ debido a la descomposición del carbonato cálcico en óxido de calcio, principal componente del clínker. Por cada 1.000 g de cemento se emiten a la atmósfera 900 g de CO₂, aproximadamente el 8% de las emisiones anuales mundiales [1,2]. Esto ha llevado a la comunidad científica a buscar soluciones. Recientemente, se ha intentado reducir estas emisiones utilizando materiales cementantes suplementarios (MSC) para reducir el factor clínker del cemento [3]. Las zeolitas no tienen propiedades cementantes pero, cuando se muelen finamente, reaccionan con el hidróxido de calcio del cemento en presencia de agua para formar compuestos secundarios que aportan resistencia al cemento, lo que las convierte en una excelente opción como MCS. En este estudio, se utilizó una variedad de zeolita natural (Mordenita) procedente de un yacimiento situado en Cabo de Gata, Almería (España), como MCS en la producción de cementos sostenibles [4]. Para ello, se estudiaron diferentes muestras del yacimiento (Z-7, Z-9, Z-12 y Z-26) como sustituto parcial del cemento Portland ordinario en porcentajes del 25% para todas las muestras y del 40 y 55% en el caso de la muestra Z-7. Las zeolitas se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD). El análisis reveló que las muestras están compuestas por una fase principal de mordenita con impurezas de esmectita y cuarzo. Se observaron cristales de entre 10 y 20 µm, con aglomerados más grandes en algunas muestras. La muestra Z-7 fue la más homogénea, mientras que la Z-26 mostró grandes cristales aglomerados y puntos brillantes que indicaban fases con alto contenido en Fe. Para comprobar las propiedades tecnológicas de estos materiales se realizó el análisis químico de puzolanidad y el ensayo de resistencia a compresión. Los resultados obtenidos en el análisis de puzolanidad infieren un elevado carácter puzolánico de las muestras ensayadas. Las probetas de zeolita natural alcanzaron resistencias a compresión de 39,64 a 43,05 MPa a los 28 días con sustituciones del 25%. Cuando se aumentó el porcentaje de sustitución se obtuvo comportamiento mecánico deficiente, desaconsejando su uso en esas proporciones.

Palabras clave: Zeolitas naturales; cemento; sostenibilidad; materiales cementantes suplementarios; reducción de emisiones.

Agradecimientos:

Los autores agradecen la financiación del MCIN/AEI código: PID2022-136321OB-C21/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE.

Referencias

[1] L. Moretti, S. Caro, Critical analysis of the life cycle assessment of the Italian cement industry. *J. Clean. Prod.*, (2017) 152, 198-210.

[2] D. A. Salas, y Col., Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: a literature review. *J. Clean. Prod.*, (2016) 113, 114-122.

[3] E. Benhelal, E. Shamsaei, M. I. Rashid, Challenges against CO₂ abatement strategies in cement industry: A review. *J. Environ. Sci.*, (2021) 104, 84-101.

[4] L. Presa, y col., Natural mordenite from Spain as pozzolana. *Molecules* (2020) 25, 1220.

Leticia Presa, Ingeniera Geóloga, Máster en Ingeniería de Minas y Doctora en Ingeniería de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid, donde actualmente es profesora ayudante del Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Estudió el último año del máster en la Universidad Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH) y realizó una estancia de investigación en la Oklahoma University (OU) durante su doctorado. Su investigación, en la que ha colaborado con el Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción (LOEMCO) y el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP) del CSIC, se centra en el estudio de diferentes materiales naturales no carbonatados para su uso como Material Cementante Suplementario (SCM) en cemento, mortero y hormigón para reducir las emisiones producidas durante la calcinación del carbonato de calcio en la fabricación del cemento.

ZEOLITAS SINTÉTICAS: EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE MATERIALES BASE CEMENTO

P. CARBALLOSA, J. L. GARCÍA-CALVO, R. JARABO, I. PADILLA, M. ROMERO, A. LÓPEZ-DELGADO

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), Calle Serrano Galvache 4, 28033, Madrid. carballosa@ietcc.csic.es; jolgac@ietcc.csic.es; rocio.jarabo@ietcc.csic.es; mromero@ietcc.csic.es; isabel.padilla@ietcc.csic.es; alopezdelgado@ietcc.csic.es

RESUMEN

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos con estructuras tridimensionales abiertas que presentan elevada estabilidad térmica y dimensional, alta capacidad de adsorción, ligereza, resistencia a ácidos y capacidad de intercambio iónico. Estas propiedades permiten su empleo en numerosas aplicaciones industriales, incluyendo el sector de la construcción, donde se emplean como adiciones de materiales base cemento. Su incorporación ayuda a reducir el contenido de cemento, disminuyendo así el impacto ambiental de las soluciones constructiva. Así mismo, gracias a su capacidad puzolánica mantienen o incrementan las resistencias mecánicas y permiten obtener elementos más ligeros gracias a su menor densidad.

En los últimos años, el uso de zeolitas sintéticas ha aumentado significativamente, ya que representan una alternativa eco-eficiente al empleo de zeolitas naturales. En particular, ha ganado relevancia la producción de zeolitas sintéticas a partir de residuos industriales, lo que contribuye a reducir la explotación de recursos naturales y a proteger del medio ambiente.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la incorporación de dos tipos de zeolitas sintéticas en morteros de cemento, analizando sus propiedades en estado fresco, la interacción a nivel microestructural y las características mecánicas resultantes de la sustitución parcial del cemento por zeolitas sintéticas en tres proporciones diferentes. Las dos zeolitas evaluadas (LTA y NaP) fueron obtenidas mediante síntesis hidrotermal a partir de un residuo de aluminio procedente de la captación de finos en los sistemas de molienda de escorias (1,2).

El estudio se llevó a cabo incorporando cada tipo de zeolita en tres porcentajes de sustitución del cemento en peso (5%, 10% y 15%) en un mortero de referencia, manteniendo constante la relación agua:conglomerante (cemento más zeolita). En estado fresco, ambos tipos de zeolitas reducen la fluidez de la mezcla de referencia en mayor o menor grado según su contenido, siendo más significativa la disminución al emplear la zeolita tipo NaP. Aun así, todas las mezclas presentan buena trabajabilidad y un tiempo abierto óptimo con un 10% de sustitución para ambos casos.

A nivel microestructural, se observa que las zeolitas se distribuyen uniformemente en la matriz cementicia, con la formación puntual de pequeños clusters, y favorecen la nucleación y precipitación de compuestos hidratados del cemento a su alrededor. Esto contribuye a explicar en parte los resultados mecánicos obtenidos a corto plazo. En cuanto a las propiedades mecánicas de resistencia a compresión, se evidencia que la incorporación de zeolitas sintéticas mantiene o mejora las resistencias de la mezcla de referencia a partir de los 7 días. Además, la zeolita tipo NaP muestra un incremento en la resistencia a largo plazo a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución. Estas características mecánicas se atribuyen a la capacidad de reacción puzolánica de las zeolitas y al efecto de nucleación observado a nivel microestructural.

Palabras clave: Zeolita LTA; zeolita NAP; zeolitas sintéticas; morteros; microestructura.

Referencias

[1] A. Lopez-Delgado, J. I. Robla, I. Padilla, S. López-Andrés, M. Romero. Zero-waste process for the transformation of a hazardous aluminum waste into a raw material to obtain zeolites, *J. Clean. Prod.* 255 (2020).

[2] R. Sánchez-Hernández, I. Padilla, S. López-Andrés, A. López-Delgado. Eco-friendly bench-scale zeolitization of an Al-containing waste into gismondine-type zeolite under effluent recycling. *J. Clean. Prod.*, 161 (2017).

Pedro Carballosa, Dr. Ing. de Materiales de la Unidad Científico-Técnica de Tecnología del Hormigón del IETcc-CSIC. Su actividad profesional se centra en el diseño y la caracterización micro y macroestructural de hormigones convencionales y especiales con enfoque prestacional y sostenible siendo experto en el ámbito de los hormigones expansivos. Ha participado como investigador en más de 11 proyectos y 69 contratos de investigación nacionales e internacionales. Es coautor de 24 trabajos de investigación publicados en revistas JCR. Ha participado en un número elevado de congresos científicos y en diferentes cursos de especialización, jornadas técnicas y clases magistrales. El impacto de su investigación sobre materiales base cemento ha posibilitado la ejecución de infraestructuras y edificios que han supuesto hitos ingenieriles premiados a nivel nacional e internacional.

TRANSFORMATION OF FLY ASH INTO ZEOLITE MATERIALS AND THEIR APPLICATIONS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION MATERIALS

T. BAJDA^{1,3}, W. FRANUS^{2,3}

¹ AGH University of Krakow, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland. bajda@agh.edu.pl

² Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, Poland. w.franus@pollub.pl

³ DemetriusLab Sp. z o.o., ul. Nadbystrzycka 38H, 20-618 Lublin, Poland. t.bajda@demetriuslab.pl, w.franus@demetriuslab.pl

ABSTRACT

The transformation of fly ash (FA) into zeolites and mesoporous silica materials is a promising avenue for environmental engineering and construction materials. Our studies demonstrate that FA, a byproduct of coal combustion, can be efficiently converted into zeolite materials (ZMs) through hydrothermal processes using a technological demonstration line. FA was reacted with aqueous NaOH in a 130 dm³ stainless steel tank and heated to 80°C for 26 hours. During this process, aluminosilicates dissolved in the alkaline solution and recrystallized under hydrothermal conditions to form fly ash-zeolite materials (ZMs-FA). Ultra pure-zeolite materials (ZMs-UP) synthesis involved fusion with NaOH and hydrothermal treatment. First, solid NaOH and FA were ground in a ceramic mortar, transferred to ceramic vessels, and calcined at 550°C for 1 hour. The resulting powder was then re-milled and mixed with deionized water, and the mixture was agitated for 16 hours. The filtrate solution, rich in silicon (Si) and aluminum (Al), was a by-product of the technological process. In the second step, the mixture underwent hydrothermal treatment, heated in a sealed teflon container at 80–105°C for 4 hours. Finally, the material was washed with double-distilled water to remove residual NaOH and dried at 105°C for 1 hour. The syntheses' products are ZMs-FA and ZMs-UP (P1, A, X, sodalite, analcime), zeolite-carbon composites (P1-C, X-C), zeolite-vermiculite composites (P1-V, A-V, X-V), mesoporous silica materials (MCM-41, SBA-15), and metal-organic frameworks (MOFs). The obtained ZMs have produced mineral-asphalt mixtures with reduced embedding temperatures. Research into the use of zeolites in the construction of materials reveals their potential to increase the durability and performance of construction materials. By incorporating zeolites into cement and concrete, mechanical strength, thermal stability, and resistance to chemical degradation have been observed. Developing microbial technology for producing biocements to consolidate sandy soils and revitalize damaged stone surfaces is a complete novelty. A novel solution is the functionalization of the obtained ZMs, which allows changing of their physicochemical properties, making it possible to obtain hybrid sorbents or specifically modified sorbents for the removal of specific pollutants, including anionic forms of metals, metalloids and non-metals, radionuclides, petroleum substances and organic pollutants (antibiotics, dyes, pesticides) from water and wastewater.

Keywords: Synthesis; minerals; functionalization; pollution; sorption.

Acknowledge:

Research Project partly supported by program "Excellence initiative – research university" for the AGH University of Krakow.

Tomasz Bajda defended his Ph.D. thesis in 2004 at the Department of Mineralogy, Petrology and Geochemistry of the AGH University of Krakow, Poland. 2016-2020 was the President of the Mineralogical Society of Poland. In 2020, he received the title of Professor of Natural Sciences. He is a specialist in the study and use of mineral and organic, natural, synthetic, functionalized sorbents. He has more than 20 years of experience confirmed by publications, patents, implemented R&D projects. He uses his knowledge and experience in research on the application of sorbents for the removal of inorganic (metals, metalloids, non-metals, volatile sulfur compounds) and organic (pharmaceuticals, VOCs, pesticides, dyes, surfactants) contaminants from water solutions and industrial wastewater. Prof. Bajda has published over 100 papers in the journals from the Thompson list, over 200 scientific reports and conference abstracts, author of 5 patents, H-index = 29, > 2800 citations.